

2.2 Messung der Magnetisierungskennlinie

Für die Messung der Magnetisierungsverluste wird ein Spannungssignal an der Sekundärseite angelegt, dessen Spannungs-Zeitfläche (Integral) dem magnetischen Fluss des Stromwandlers entspricht. Die Spannungs- und Stromamplitude, sowie der Phasenwinkel zwischen der Spannung und des Stromes, werden bei unterschiedlichen resultierenden magnetischen Flüssen gemessen, um daraus die Magnetisierungskennlinie zu bilden.

Für Spannungsamplituden kleiner 120V wird bei Bemessungsfrequenz gemessen. Wird die Wandler-sättigung bei 120V noch nicht erreicht, reduziert der CT Analyzer die Messfrequenz, unter Berücksichtigung der Wirbelstromverluste, um bei gleicher angelegter Spannung den Kern zu sättigen.

Die gemessenen Spannungsamplituden werden auf die entsprechenden Werte bei Bemessungsfrequenz umgerechnet. Mit dieser Methode können Kniepunktspannungen bis zu 30kV gemessen werden, obwohl die maximale Prüfspannung auf 120V begrenzt ist. Nach Beendigung der Messung der Magnetisierungsverluste wird ein weiterer Entmagnetisierungszyklus durchgeführt.

2.3 Messung der Wirbelstromverluste und der Hystereseverluste

Durch die physikalischen Eigenschaften der Wirbelstromverluste die proportional zum Quadrat der Frequenz sind, hingegen die Hystereseverluste aber direkt proportional zur Frequenz, können die Wirbelstromverluste von den Hystereseverlusten separiert werden. Der CT Analyzer misst die gesamten Eisenverluste bei zwei unterschiedlichen Frequenzen mit demselben resultierenden magnetischen Fluss.

Die gesamten Eisenverluste berechnen sich wie folgt.

$$P_{EISEN} = P_{HYSTERESE} + P_{WIRBELSTROM}$$

Die Hystereseverluste sind proportional zur Frequenz.

$$P_{HYSTERESE} = a * f$$

Die Wirbelstromverluste sind proportional zum Quadrat der Frequenz.

$$P_{WIRBELSTROM} = b * f^2$$

Die Messung der gesamten Eisenverluste bei zwei unterschiedlichen Frequenzen mit demselben resultierenden magnetischen Fluss liefert die Konstanten a und b.

$$P_{f1} = a * f_1 + b * f_1^2$$

$$P_{f2} = a * f_2 + b * f_2^2$$

$$\Rightarrow a = \frac{P_{f1} * f_2^2 - P_{f2} * f_1^2}{f_1 * f_2 * (f_2 - f_1)}$$

$$\Rightarrow b = \frac{P_{f2} * f_1 - P_{f1} * f_2}{f_1 * f_2 * (f_2 - f_1)}$$

2.4 Messung der Kernübersetzung

Für die Messung der Wicklungsübersetzung des idealen Wandlerkernes, wird der Wandler sekundärseitig mit einer sinusförmigen Spannung beaufschlagt die dem Arbeitspunkt des Wandlers entspricht. Die Spannung und der daraus resultierende Strom werden gemessen. Nach Abzug der Spannung die über die Wicklungswiderstandsverluste abfallen, kann auf die tatsächliche Kernspannung (EMF) geschlossen werden. Die induzierte Spannung an der Primärseite (U_{PRIM}) des Stromwandlers wird gemessen.

Die Wicklungsübersetzung errechnet sich aus dem Verhältnis der Kernspannung zu der induzierten Spannung an der Primärseite des Stromwandlers.

$$N_{KERN} = \frac{EMF}{U_{PRIM}}$$

2.5 Berechnung der Stromübersetzung bei definierter Lastbürde

Ein Sekundärstrom, welcher durch eine definierte Lastbürde fließen soll, benötigt eine Kernspannung ($V_c = EMF$) die diesen Strom treibt.

Da die Magnetisierungsverluste, sowie der Fehlwinkel des Wandlers bei jeder Kernspannung bekannt sind, können daraus der Stromübersetzungsfehler und der Phasenfehler des Wandlers für jeden Primärstrom, sowie jede Lastbürde, bestimmt werden. Bild 3 zeigt wie die Strommessabweichung sowie der Fehlwinkel anhand der Magnetisierungskennlinie ermittelt werden. Somit können alle erforderlichen Messpunkte laut dem IEC 60044-1, dem IEC 60044-6 und dem IEEE C57.13 Standard ermittelt werden.

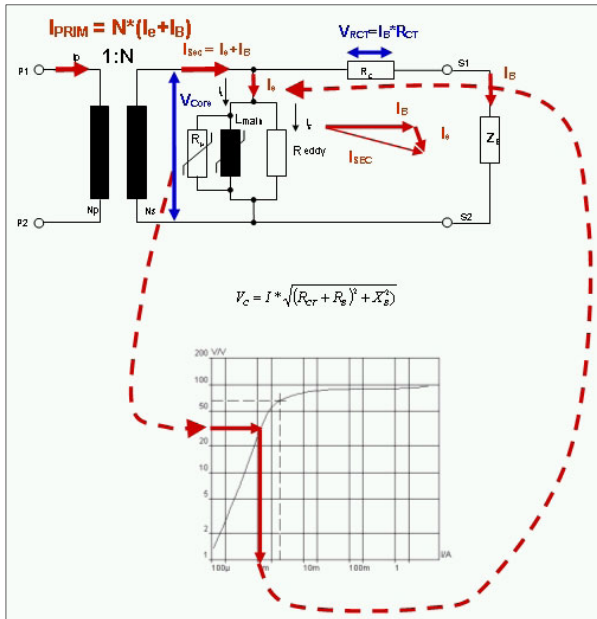


Bild 3: Messung von Strommessabweichung und Fehlwinkel anhand der Magnetisierungskennlinie

3. Anwendungsbeispiele

Grundsätzlich sollte beim Messaufbau darauf geachtet werden, dass eine korrekte vierpolige Messung durchgeführt wird, wie in Bild 4 ersichtlich ist. Andernfalls können die Messergebnisse durch die bestehenden Übergangswiderstände an den Kontaktpunkten der Prüfklemmen verfälscht werden, so dass der CT Analyzer möglicherweise falsche Messergebnisse liefert.



Bild 4: Korrekte vierpolige Messung

Der durch zwei Prüfklemmen verursachte Übergangswiderstand kann bis zu einigen 100 mOhm betragen und so eine zusätzliche Bürde verursachen (Bild 6). Der Einfluss des Übergangswiderstandes auf das Messergebnis ist daher umso größer, je geringer der Wicklungswiderstand des Wandlers ist.

Bei der Messung an einem 5A-Wandler kann ein solcher Übergangswiderstand zu völlig falschen Messergebnissen führen, während er bei einer Messung an einem Wandler mit einem relativ hohen Wicklungswiderstand praktisch vernachlässigt werden kann.

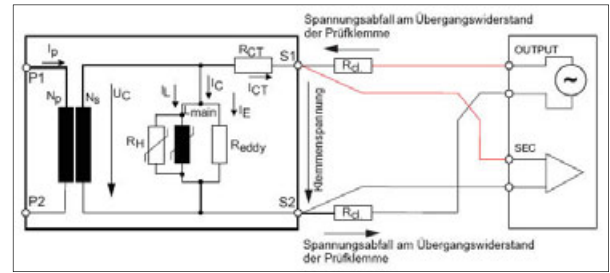


Bild 5: Vierpoliger Anschluss

$$R_{GESAMT} = R_{CT}$$

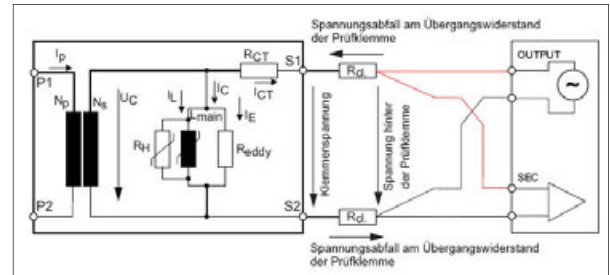


Bild 6: Zweipoliger Anschluss

$$R_{GESAMT} = R_{CT} + R_{KONTAKT}$$

3.1 Messung an Durchführungsstromwandlern

Bisher war es nur recht schwer möglich Durchführungsstromwandler mit der Stromeinspeisungsmethode zu messen, da die Transformatorwicklung in Reihe zur Primärseite des Stromwandlers liegen. Diese Methode würde sehr große Prüfgeräte erfordern, welche in der Lage sein müssten, Ströme von mehreren 100A bei sehr hohen Spannungen zu liefern. Deshalb eignet sich für solche Messungen nur die Spannungseinspeisungsmethode, wie sie auch der CT Analyzer verwendet.

3.2 Messung an Transformatoren mit Sternschaltung

Die Messung von Stromwandlern in Transformatoren mit Sternschaltung ist zwar möglich, allerdings muss gewährleistet sein, dass das Messergebnis nicht durch die Impedanz der Transformatorwicklung verfälscht wird. Die Eingangsimpedanz des Spannungsmessingangs PRIM beträgt ca. 500 kOhm. Dies kann jedoch bereits gering genug sein, um das Messergebnis zu beeinflussen. Um jeglichen Einfluss der Eingangsimpedanz des CT Analyzer zu vermeiden, muss zumindest die Wicklung am selben Transformator-schenkel, d.h. die zugehörige Wicklung auf der Unter- oder Oberspannungswicklung, kurzgeschlossen werden.

Noch besser ist es, an allen Schenkel des Transformators die Wicklungen kurzzuschließen. Die Durchführungen, die nicht für den Messaufbau verwendet werden, sollten wenn möglich mit Schutz Erde verbunden werden.

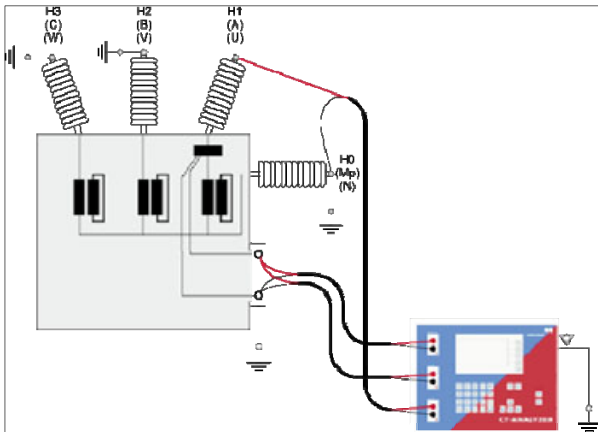


Bild 7: Durchführungsstromwandler in Y-Transformator

3.3 Messung an einem in Dreieck verschalteten Transformators

Da die in Dreieckschaltung verschalteten Transformatorwicklungen als Spannungsteiler wirken, kann das Übersetzungsverhältnis des Wandlers nicht direkt abgelesen werden. Um das korrekte Übersetzungsverhältnis zu erhalten, muss vielmehr die durch den CT Analyzer ermittelte Übersetzung korrigiert werden. Zu diesem Zweck kann am CT Analyzer in der CTObjekt-Karte eine so genannte Delta-Kompensation eingestellt werden. Die Delta-Kompensation sollte entsprechend den für die Primärsignalmessung des Wandlers verwendeten Transformatoranschlüssen gewählt werden.

Falls die Möglichkeit besteht, die anderen Wicklungen am selben Schenkel des Transformators kurzzuschließen, sollte die Messung bei kurzgeschlossener Wicklung durchgeführt werden.

In diesem Fall ist keine Delta-Kompensation notwendig, da die induzierte Spannung an der Sekundärseite des Transformators gegen Null geht, was in umgekehrter Folge zur Wirkung hat, dass auch die induzierte Spannung an den Primärwicklungen gegen Null geht.

Die zu verwendende Delta-Kompensation in Bild 8 ersichtlichen Messaufbau ist "Ratio 2/3".

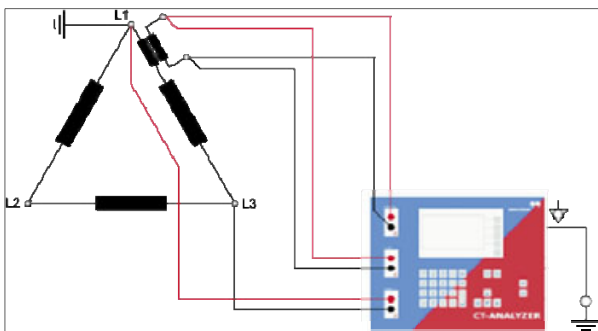


Bild 8: Dreieckstransformator - Delta-Kompensation 2/3

Für den in Bild 9 ersichtlichen Messaufbau ist keine Delta-Kompensation notwendig.

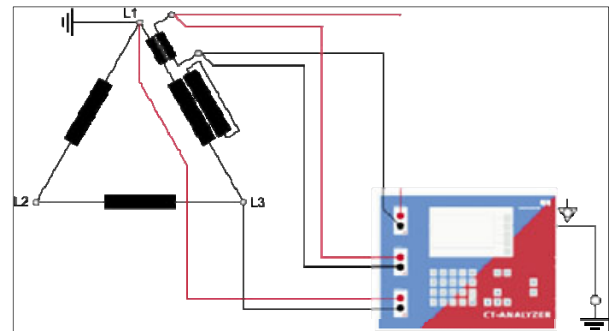


Bild 9: Dreieckstransformator – Delta-Kompensation 1

3.4 Beispiel aus der Praxis: Messung an Stromwandlern in einem Autotransformator

Um die Stromwandler im Bild 10 ersichtlichen Beispiel eines Autotransformators mit hoher Genauigkeit zu messen, sollte beim Messaufbau folgendes beachtet, bzw. eingehalten werden.

- Die Stufenschalterposition muss auf die Position 14 geschaltet werden, da ansonsten die Regelwicklung mit der Hauptwicklung einen Spannungsteiler realisiert der die Messgenauigkeit stark beeinflusst. Generell sollte die Stufenschalterposition so gewählt werden, dass die Regelwicklung komplett überbrückt wird.
- Die anderen Wicklungen am selben Transformator-schenkel sollten kurzgeschlossen werden, damit keine Spannung an den Wicklungen induziert wird, die die Messung beeinflussen kann.
- Die Durchführungen die nicht für den Messaufbau verwendet werden, sollten mit Schutz Erde verbunden werden.
- Wenn die Möglichkeit besteht, sollten die nicht verwendeten Stromwandlerkerne kurzgeschlossen werden, damit kein magnetischer Fluss in diesen Kernen induziert werden kann, die das Messergebnis verfälschen könnten.
- Die Primärseite des Stromwandlers, auf welcher die höheren überlagerten Störeinflüsse vermutet werden, sollte mit Erde verbunden werden.

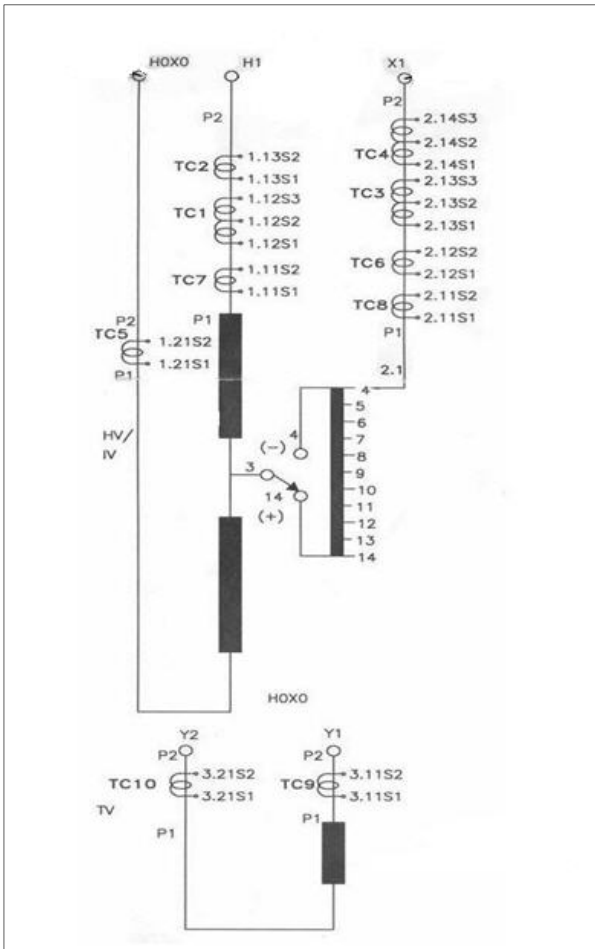


Bild 10: Typenschild des Autotransformators

Bild 11 zeigt die Spezifikationen der Stromwandler, welche in diesem Autotransformator installiert wurden.

TC	TERMINALES	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	RELACION	CLASE	APLICACION
1	(1.1251-1.1252)/(1.1251-1.1253)	500/1000/1 AMP	5 VA, CL. 0.2 FS 10	MEDIDA	
2	(1.1351/1.1352)	1000/1 AMP	10 VA, CL. SP20	PROTECCION	
3	(2.1351-2.1352)/(2.1351-2.1353)	1250/2500/1 AMP	5 VA, CL. 0.2 FS 10	MEDIDA	
4	(2.1451-2.1452)/(2.1451-2.1453)	1250/2500/1 AMP	20 VA, CL. SP20	PROTECCION	
5	(2.2151-2.2152)	650/1 AMP	10 VA, CL. SP20	PROTECCION	
6	(1.1251-2.1252)	1574.6/1 AMP	10 VA, CL. 5	LDC	
7	(1.1151-1.1152)	882.8/5 AMP	10 VA, CL. 5	MONITOR DE TEMPERAT.	
8	(2.1151-2.1152)	1574.6/5 AMP	10 VA, CL. 5	MONITOR DE TEMPERAT.	
9,10	(2.1151-2.1152) & (2.2151-2.2152)	2500/1 AMP	10 VA, CL. SP20	PROTECCION	

Bild 11: Stromwandlerspezifikationen

3.5 Messung an Stromwandlern mit Wicklungsanzapfung

Bei der Prüfung von Stromwandlern mit Wicklungsanzapfung müssen alle anderen, nicht verwendeten Wicklungen desselben Kernes offen sein. Wenn dies nicht der Fall ist, kann der Wandler nicht geprüft werden, da Teile des Kernes kurzgeschlossen sind. Die maximale Ausgangsspannung des CT Analyzer beträgt 120V, daher kann an den anderen Wicklungen lediglich die entsprechende transformierte Spannung anliegen.

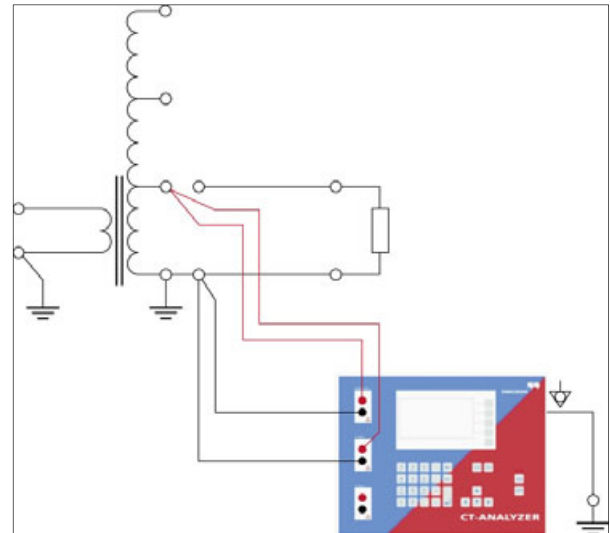


Bild 12: Stromwandler mit Wicklungsanzapfung

4. CTA PC Toolset - Anwendungsmöglichkeiten

Die CTA PC Toolsets bieten neben der Möglichkeit den CT Analyzer über die Remote Schnittstelle anzusteuern, zahlreiche andere Anwendungsmöglichkeiten die hier erläutert werden.



Bild 13: CTA PC Toolset Startseite

4.1 CTA Quick Test

Mit Hilfe der CTA Quick Test Software kann ein angeschlossener CT Analyzer als vielseitiges Multimeter mit integrierter Strom- und Spannungsquelle verwendet werden.

Mögliche Anwendungsgebiete für den CTA Quick Test sind:

- Schnelle und einfache Widerstandsmessung, z.B. zur Prüfung der sekundärseitigen Verkabelung von Stromwandlern
- Schnelle und unkomplizierte Prüfung der Übersetzung von Spannungswandlern
- Messung der angeschlossenen Bürde, z.B. zur Bestimmung der aktuellen Bürde nach einem

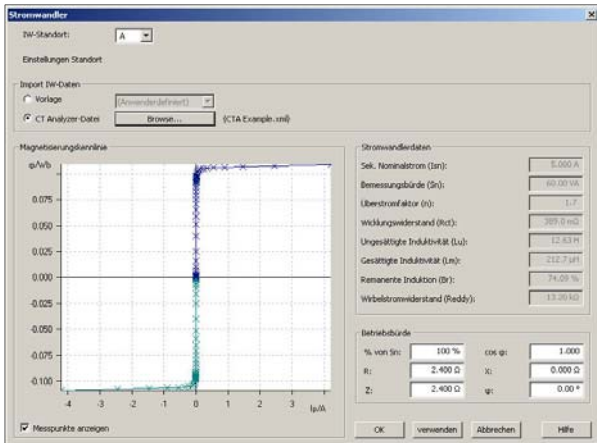


Bild 17: Stromwandlerimport in NetSim

Die simulierten Ströme repräsentieren die tatsächlichen Sekundärströme die bei einem Fehlerfall zu erwarten sind. Der in Bild 18 verdeutlichte Fehlerfall zeigt eine Sättigung eines Stromwandlers mit extrem niedriger Überstromziffer bei einem transienten Fehlerfall. Eine Anwendung hierfür wäre beispielsweise das Testen der Sättigungserkennung bei einem Transformator-Differentialschutz, welcher in der kommenden Softwareversion beinhaltet ist.

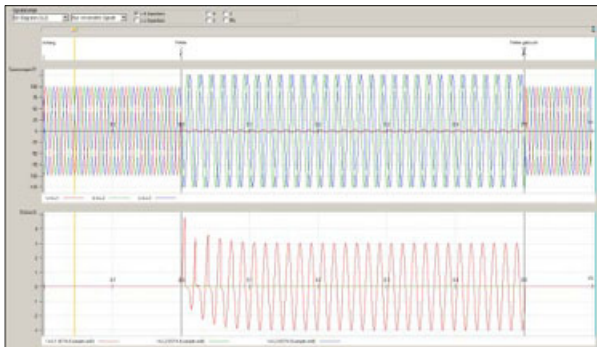


Bild 18: Transienter Fehlerfall

Bild 19 zeigt einen voll verlagerten Kurzschlussstrom eines mit 25% der Bemessungsbürde belasteten Stromwandlers. Die obere Kurve stellt den simulierten Wandlersekundärstrom dar, die untere Kurve den Idealverlauf des auf die Sekundärseite transformierten Primärstroms. Der Wandler gibt den gesamten Stromverlauf korrekt wieder, ohne jegliche sichtbare Sättigungseffekte. Bild 20 zeigt die Signale des gleichen Stromwandlers, nun jedoch bei Belastung mit Bemessungsbürde. Deutlich sieht man in der oberen Kurve die durch Sättigungseffekte des Kernes verursachten Verzerrungen im Verlauf des Sekundärstromes.

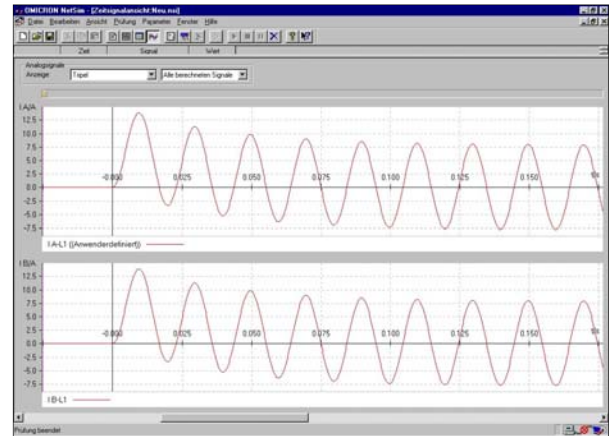


Bild 19: Transienter Fehlerfall

Dieses Beispiel zeigt deutlich den Einfluss der Bürde auf das transiente Verhalten von Stromwandlern während hoher Fehlströme. Beispielsweise kann die Verwendung zweier solcher mit unterschiedlichen Bürden belasteten Wandler in einer Differentialschutz-Anwendung zu Fehlanslösungen führen. Die berechneten Ströme und Spannungen können mit Hilfe eines Sekundärprüfgerätes (z.B.: dem CMC 256plus) physikalisch in ein Relais eingespeist werden, wodurch sich realistische Prüfungen des gesamten Schutzkreises auch für extreme Bedingungen durchführen lassen.

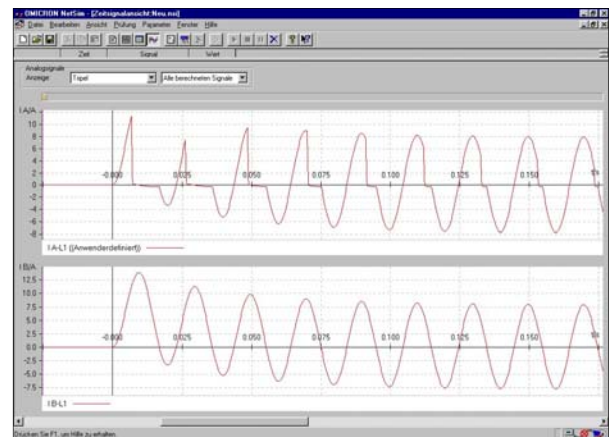


Bild 20: Transienter Fehlerfall

6. Literatur

- [1] CT Analyzer Theoretical Background, OMICRON electronics
- [2] CT Analyzer Benutzerhandbuch, OMICRON electronics
- [3] NetSim Benutzerhandbuch, OMICRON electronics
- [4] IEC 60044-1 consolidated with amendments 1:2000 "Instrument Transformers, Part 1: Current Transformers", International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 140 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Niederlassungen in Europa, Nordamerika, Südostasien, Australien und im Nahen Osten, ein weltumspannendes Netz von Vertriebspartnern sowie etablierte Plattformen für den internationalen Erfahrungsaustausch stellen sicher, dass das breite und tiefe Anwendungswissen und der erstklassige Kundenservice allen Anwendern zur Verfügung steht.

Europa, Naher Osten, Afrika
OMICRON electronics GmbH
Oberes Ried 1
6833 Klaus, Austria
Tel.: +43 5523 507-0
Fax: +43 5523 507-999
info@omicron.at

Nord- und Lateinamerika
OMICRON electronics Corp. USA
12 Greenway Plaza, Suite 1510
Houston, TX 77046, USA
Tel.: +1 713 830-4660
+1 800-OMICRON
Fax: +1 713 830-4661
info@omicronusa.com

Asien, Pazifischer Raum
OMICRON electronics Asia Limited
Suite 2006, 20/F, Tower 2
The Gateway, Harbour City
Kowloon, Hong Kong S.A.R.
Tel.: +852 3767 5500
Fax: +852 3767 5400
info@asia.omicron.at